

**Наземная сейсморазведка: путь к «мега-каналу». Land seismic: the move towards the mega-channel**

Будучи геофизиком, который «сбился с пути» и попал в область наземной сейсморазведки три десятилетия назад, Bob Heath из AscendGeo, наблюдает за переменным успехом в области геофизического оборудования, который является общим для многих отраслей технических разработок.

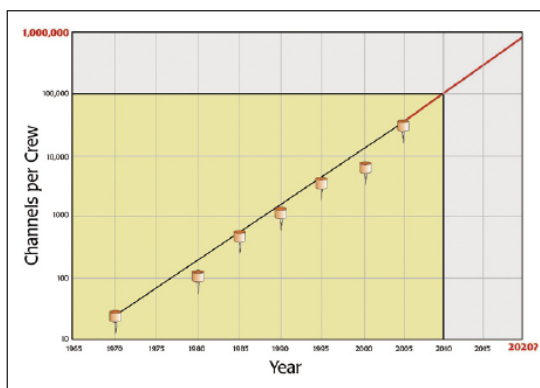
После слишком длительного затишья в электронике, в настоящее время инструментарий для наземных исследований претерпевает успехи. В результате многочисленных запросов по увеличению числа каналов, словно после «удара тепловым нейтроном», представления о системе регистрации расщеплены на две части: одна часть осталась уверенной в превосходстве систем на основе кабелей для всех типов сбора данных, в то время как другая считает, что оборудование кос уже не играет никакой роли, особенно при работах с большим числом каналов. Как я постараюсь объяснить, обе стороны 'даже не неправы'.

На заре квантовой механики, прогресс также происходил путем взлетов и осмысления. Одним из маяков, на счету которого было больше всего взлетов, был Проф. Wolfgang Pauli. У него была репутация непревзойденного спорщика. При необходимости, говорят, он не колебался, прежде чем сказать кому-либо, насколько его оппонент не прав. Тем, кто желал иметь дискуссии с Wolfgang, лучше было иметь все доказательства, притом прямые.

По мере того, как прогресс в этой области замедлился, с Pauli очевидно, стало еще труднее спорить и, когда ему приходилось иметь дело с все увеличивающимся числом плохо продуманных научных гипотез, он придумал абсолютно уничижающее высказывание. Как только он слышал о некоторой новой теории, которую считал особенно неподкрепленной, он говорил, что она *'nicht einmal falsch'* - 'даже не ошибочна', т.е. теории просто недостает фактов, для того, чтобы выносить суждения. История может быть и недостоверной, но термин 'даже не ошибочна' стал использоваться по отношению к идеям, когда нет возможности вынести никакие суждения, поскольку отсутствуют некоторые принципиально важные составляющие. Если выражаться более современным языком, «судьи» не только ни сном, ни духом не знают теории и практики сбора 'мега-канальных' данных, они только начали слышать редкие факты, которые стали доступны недавно.

Положительной стороной является то, что впервые за многие годы индустрия открыта для новых идей и технологий, но мы не находимся еще в той точке, когда мы могли бы сказать, как будет производиться сбор данных наземной сейсморазведки даже в ближайшем будущем. Нашей первой задачей является понимание того, что возможно с помощью новых систем. Только если конечные пользователи знают, что они могут сделать с помощью каждой конкурирующей технологии, стоит размышлять о том, какой тип оборудования можно ожидать через несколько лет.

Термин мега-канал выходит на поверхность более часто, но префикс 'мега' не должен означать, что мы скоро увидим миллион каналов в наземных работах. В докладе на конференции EAGE в Лондоне 2007 говорилось о необходимости трех миллионов каналов в одной партии, тогда как они «перебивались» только 77,000.



**Рисунок 1** Закон Муора об удвоении, в применении к числу каналов наземной сейсмической партии. Будет ли возможным получение первых миллиона каналов через 20 лет при использовании соответствующих технологий?

Итак, мега-канал может буквально не означать  $10^6$  живых трасс. Но если мы считаем что закон Муора применим к числу каналов, возможно и будет партия с миллионом каналов, прежде чем кто-то из нас выйдет на пенсию. (Я благодарен Dave Monk из Apache за предоставление данных к Рисунок 1, который я имел смелость продлить до 2020 г.).

На Рисунок 2 показано, как просто было бы использовать один миллион каналов. Ничего не надо кроме соответствия критериям по дискретизации. Один из моментов, которые надо осмыслить – то, что мега-канал в состоянии работать в пространственной области, также как дельта-сигма преобразователи работали в частотной области, т.е. он позволяет вам выполнять избыточную дискретизацию для лучшего управления шумом. Действительно, кажется, что большое число каналов дают новую жизнь маленьким аналоговым расстановкам. Когда доходит дело до сбора многокомпонентных данных, будь то аналоговые или цифровые датчики, бригада становится мульти-мега-канальной без больших усилий. Поэтому, давайте решим, что мега-канал не означает гораздо большие партии, чем у нас имеются в настоящее время и не обязательно с семизначным числом каналов.

**Альтернативы мега-каналам**

Даже, несмотря на то, что в последние несколько лет наблюдался здоровый рост числа живых трасс, имеется причина полагать, что дальнейшее увеличение может не оказаться жизнеспособной без изменения технологии и структуры формирования цен. Итак, какие изменения могут заставить нас маршировать в сторону мега-канала?

Глядя на современные работы, мы по большей части видим надежную регистрирующую аппаратуру, которая перемещает данные путем использования

## Наземная сейсморазведка

цифровой передачи по кабелю. Современные версии этой технологии действительно впечатляющие, она прошла немалый путь с момента ввода в действие вот уже четверть века назад. Можно справедливо верить, что жизнестойкость наземной 3D разведки обязана этой технологии. Однако, несмотря на то, что 3D обеспечила существенные преимущества в качестве данных над 2D, нефтяные компании десятилетиями взывали к новому квантовому скачку, который бы удовлетворил их пожеланиям о все большем увеличении качества данных. Они с готовностью говорят о мега-канальных данных, как о примерной цифре, 'мега' может означать 30-50,000 каналов только для однокомпонентных наблюдений. Это должно рассматриваться не как верхний предел, а как нечто, что надо испытать перед еще большим рывком. Насколько большой это будет рывок, зависит преимущественно от выбора методик.

Тогда как большая часть систем с косами заявляют о себе как о системах, готовых работать с несколькими тысячами каналов, необходимо спросить насколько подходит эта технология для попытки внедрения «мега» идеи. Или не нужно ли ее будет опробовать с использованием новейших беспроводных систем? Поскольку обе технологии имеют вполне ясные преимущества, мы не должны просто говорить о сильной стороне каждой из опций, но требуется также рассмотреть, как их можно использовать бок о бок для того, чтобы нефтяные компании и подрядчики получили все самое лучшее.

### Системы с косами

Аппаратура, основанная на системе кос, обвиняется в двух основных недостатках. Первым является ее вес, а второй - ненадежность комбинации разъемов - соединительного кабеля как средства передачи информации с высокой скоростью данных

от последовательных зависимых систем в условиях наземной сейсморазведки. Они, оказывается, связаны неявно.

Если говорить о примерных цифрах, для каждых 1000 каналов 24-битных данных при шаге 2 миллисекунд, генерируется скорость передачи данных свыше 10 мегабит/секунду. Некоторые биты данных будут идти от дальнего конца площадной расстановки по кабелю к регистрирующей станции, которая, возможно находится на расстоянии в 10 км или 20 км, встречая на своем пути большое число узлов. Эти компоненты будут подвержены всем типам намеренного или непреднамеренного физического повреждения. Использование таких кабелей Cat5 Ethernet с подобной скоростью передачи данных в стенах офиса или их использование опытными пользователями – одно; но протяжка кабелей с высокой скоростью передачи через овраги, магистрали и фермы, в экстремальных климатических условиях и их работа в условиях ограниченного питания совсем другое.

Проблема заключается в том, что по мере того, как скорость передачи растет, главной характеристикой кабеля становится его импеданс, а не сопротивление. Это может повредить очередности передачи данных. Когда частоты действительно становятся высокими, даже незначительные изменения импеданса могут выглядеть как крупные препятствия для прохождения единиц и нулей. Даже еще хуже, когда проблемы передачи данных кратковременные, центральная система может встретить трудности в поиске мест возникновения ошибки. Иными словами, чем больше данных передается через косу, тем больше на процесс передачи данных может повлиять незначительные в других случаях повреждения. Слишком растянутый кабель, кабель, по которому проехал грузовик, кабель, на который упал острый камень - всего лишь несколько опасностей, которые подстерегают косы на арене мега-канальных расстановок.

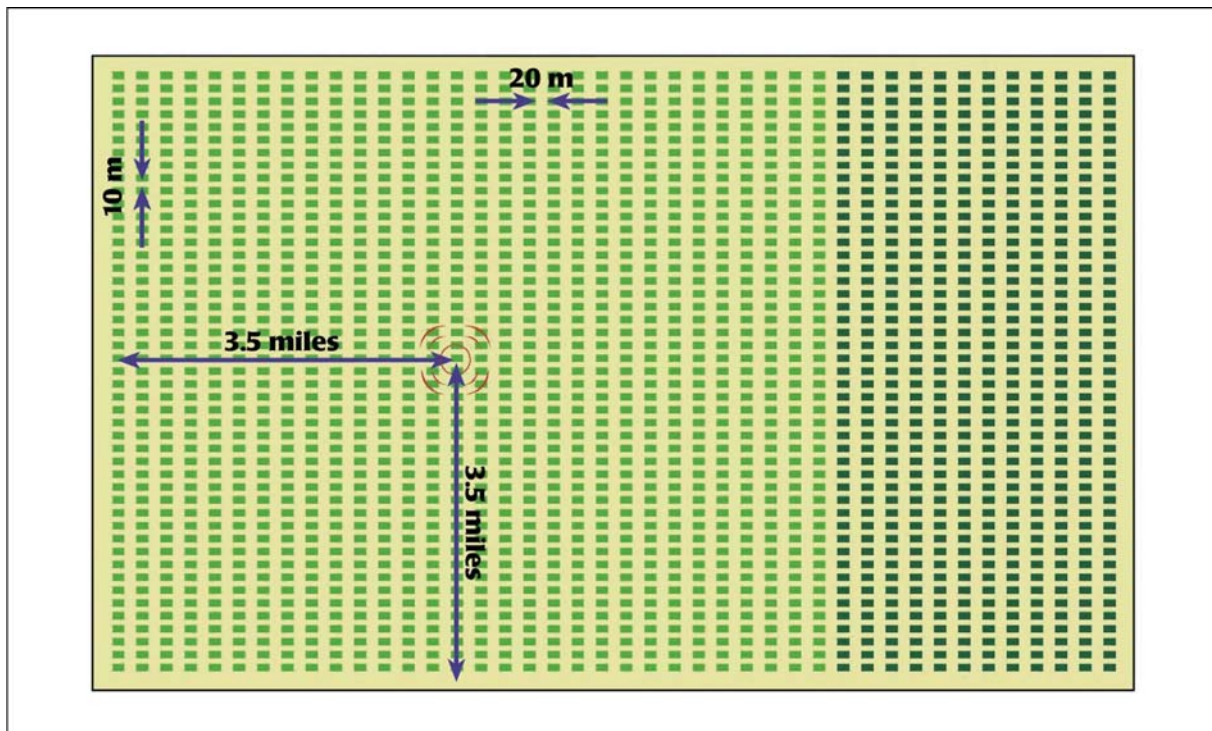
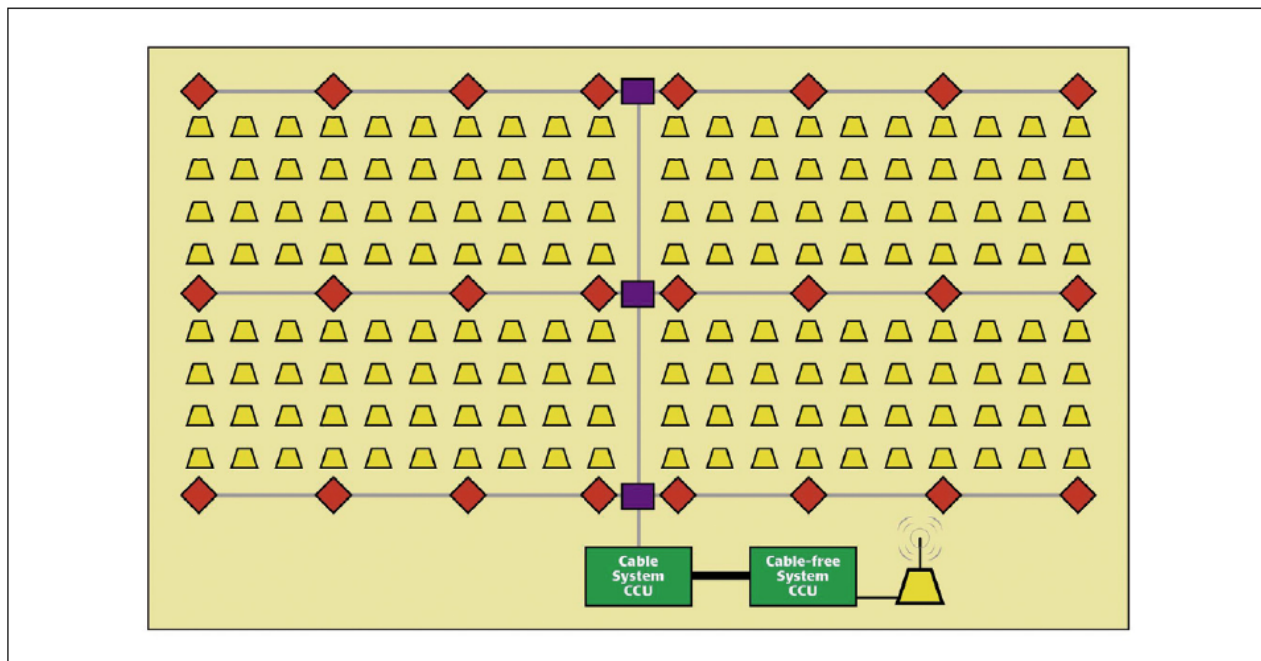


Рисунок 2 Порядка 1,000,000 каналов на Р-волнах, шаблон от 7 миль x 7 миль, интервал между трассами 10 м, интервал между профилями 20 м, и 50% перемещением приемной расстановки.



## Наземная сейсморазведка



**Рисунок 3** Кабельные и бескабельные каналы бесшовно дополняют друг друга для того, чтобы привести лучшее в регистрацию данных. В данном случае, отношение бескабельных и кабельных каналов 12:1.

Вдобавок, несмотря на сетевые системы передачи, которые могут осуществлять перенаправление данных, невозможно преодолеть проблему зависимости от последовательного соединения. Это новый термин, о котором мы все больше слышим в настоящее время, поскольку он становится все более значимым по мере увеличения партий. Он применим, когда расстановка соединяется в виде взаимозависимых секций линии – что практически всегда мы делаем на суше – и каждый разъем или часть кабеля для своей работы опирается на работу соседней конструкции. Небольшая грязь на контакте разъема может быть невидима для постоянного тока, но она может действовать как блокировка для высоких частот и нарушить течение битов данных к их желаемому местоположению. Имея зависимость от последовательного расположения, нарушение потока данных только на одном участке может означать, что все каналы за ним исчезнут.

Почти все проводные системы имеют общее свойство – кабели являются, несомненно, самой тяжелой частью аппаратуры и нет никаких указаний на то, что в ближайшее время произойдут изменения. Достигая от 60% до 80% общего веса системы, кабели состоят из витых пар проводников, оболочки и материала для повышения прочности в диапазоне от 50 кг до 100 кг на км. Это значит, что при интервале между трассами 55 м, вес только одного кабеля достигает от 2.8 до 5.6 кг. Умножим это на 5000 каналов и вы получите слишком много грузовиков, людей, выхлопов CO<sub>2</sub> и т.д.

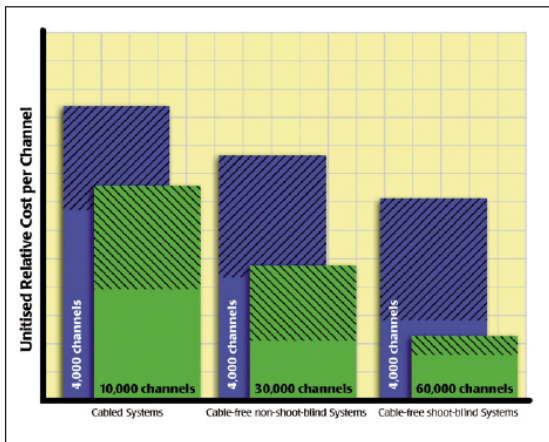
В качестве радикального средства, десятилетие назад были выполнены некоторые системы с единовременным снижением веса путем удаления с сейсмической косы достаточно тяжелой пары проводников, которые поставляли питание постоянного тока вдоль линии от батареи автомобиля. Преимуществом этой 'питающей пары' было низкое сопротивление и таким образом минимизировались потери на

передачу постоянного тока. Там где у системы нет одной батареи на опорной станции, ток теперь должен пробиваться внутри тонких проводников, которые возможно – те же, что и используемые для передачи цифровых данных. Это кажется хорошей идеей до тех пор, пока вы не начинаете понимать, что чем выше сопротивление, тем больше потери питания. В зависимости от шага между трассами и типа датчика, это может привести к



**Рисунок 4** Параллельное использование беспроводной системы Ultra G4 и телеметрической кабельной системы в Европе, январь 2007.

## Наземная сейсморазведка



**Рисунок 5** Сравнение возможного дополнительного прироста стоимости на канал при использовании кабельных систем с передачей данных на центральный блок и контролем качества, и бескабельных систем без передачи данных на центральный блок управления и контроля качества. На затененных участках показаны возможные неоднозначности. Смешивание технологий первой и последней групп дает лучшую комбинацию технических и коммерческих преимуществ, что позволяет получать большее число каналов за меньшую стоимость, при этом обеспечивая мониторинг шумов в реальном времени.

ситуации, когда дополнительные потери энергии на тонких кабелях являются причиной увеличения общего веса системы ввиду необходимости батарей большего объема. В таких случаях, вес дополнительной батареи питания, которая должна компенсировать потери кабеля может быть второй из самых тяжелых компонентов веса системы.

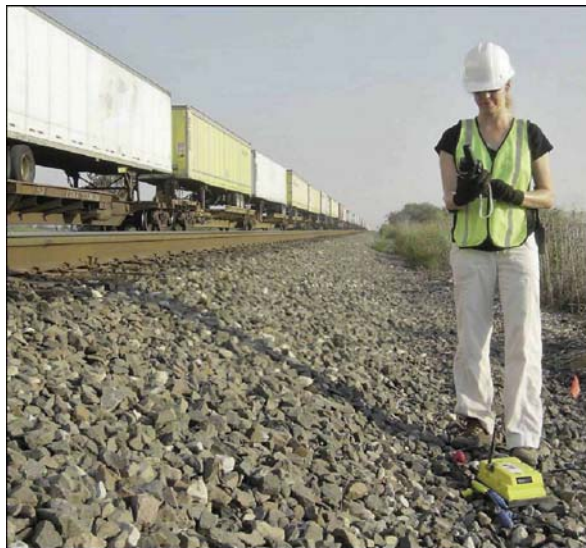
Несмотря на то, что за последние 10 лет в продажу поступило несколько новых кабельных систем, которые предлагали чудесные новые программные возможности или мощную электронику, не заметно, чтобы большое продвижение было сделано в области уменьшения чувствительности процесса передачи данных к повреждениям кабеля. По мере роста числа каналов есть смысл увеличивать прочность, и таким образом вес кабеля в целях обеспечения большей защиты при высокоскоростной передаче данных. Но это идет вразрез с требованием промышленности по увеличению числа каналов и уменьшению веса.

В целом, кабельная телеметрия хорошо зарекомендовала себя и продвинула промышленность на ту ступень, которая она сейчас занимает, но отныне для нее малоперспективно и ненужно предпринимать следующие шаги в одиночку.

#### Разновидности бескабельных систем

Системы, которые не основаны на цифровой кабельной телеметрии были на слуху десятилетие, поэтому ограничим наше обсуждение последними бескабельными системами, которые иногда называются 'бескабельные системы новой эры'. Только в этих последних продуктах есть намек на работу с мега-каналом.

Теперь немногие сомневаются, что подобная технология пришла, чтобы остаться. На недавнем съезде SEG выставлялось, по меньшей мере, шесть современных бескабельных систем. Их можно разделить на две группы: те, системы, которые не делают попыток передачи данных или статуса на центральный блок, и те, которые производят попытки отправить что-либо обратно в некоторый период времени, возможно, просто биты статуса или весь набор данных. Причина, по которой в данной статье не производится разделения между системами, которые



**Рисунок 6** Бескабельная система для пассивных сейсмических наблюдений вдоль железной дороги с использованием товарного поезда в качестве источника.

отправляют только статус и теми, которые пытаются передать всю запись, станет понятной вскоре.

Если нефтяные компании ожидают появления бескабельных систем новой эры, которые несут много преимуществ для мега-канальных партий, уменьшение стоимости и уменьшение воздействия на окружающую среду, то оборудование должно удовлетворять некоторым критериям:-

- Низкая стоимость закупки. Неважно, какого качества продукт, он плохо продается на рынке, если он слишком дорог. Сейсмические данные имеют не бесконечное значение независимое от цены на нефть. Поэтому подрядчики должны быть способны приобретать оборудование по особой цене или в противном случае не будет никакой коммерческой значимости от такого числа каналов. Когда говорят о десятках тысяч каналов в мега-канальной партии, то разница в цене всего в несколько сотен долларов на канал дает огромную мега-долларовую разницу в цене покупки на все оборудование. Это не просто делает партию более затратной (что становится рискованным, когда она слишком дорога), но в таком случае немного подрядчиков могут себе ее позволить, понижается конкурентоспособность на рынке.
- Стоимость развертывания должна быть небольшой или вновь использование желанного числа каналов становится слишком дорогим. Приемлемая цена развертывания первая идет после надежности и веса. Первая из этих характеристик зависит от наличия наименьшего числа электронных схем, которые могут дать сбой, и вторая обуславливается наличием наименьшего числа электронных схем, которые потребляют энергию.

Однако то, как информация передается по беспроводной системе от каждой наземной станции влияет на простоту устройства и стоимость, и возникает иная картина. Для передачи данных, не важно насколько малого количества, требуется установка блоков с передатчиками. Выбранная технология может быть одной из тех, которые пытаются отправить



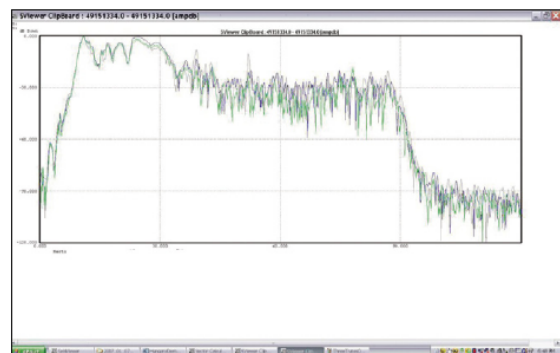
Данные обратно с самой дальней станции на центральный блок регистрации, что требует более высокой мощности радиосигнала, а значит и потребления энергии, и в свою очередь, веса. Другой метод предлагает разделение расстановки и требует меньшего питания, базируясь на сотовой передаче в каждом участке, при том, что имеется некоторая дополнительная инфраструктура передачи данных между сотами, возможно использование цифровых кабелей или широкополосных типов радиосвязи.

В любом случае, по мере увеличения количества данных, также возрастает общая сложность строения и чувствительность к неполадкам. Все это сокращает число каналов, которые может себе позволить приобрести и развернуть подрядчик, возможно на большую величину. Пусть вы уже больше не работаете «вслепую», но в лучшем случае вы можете работать с изнурением, в некоторых случаях, возможно, это закончится невозможной головной болью от самой попытки. Очевидно, что предварительное условие для мега-канала, который вы можете себе позволить - простое оборудование.

Таким образом, когда дело доходит до мега-канала, вопрос о том использовать ли бескабельные системы без отправки данных на центральный блок или записывать данные с использованием некой разновидности системы отправки данных на центральный блок переключаются с выбором между приемом данных с или без кабелей. Обе аналогии говорят о том, насколько далеко каждая технология находится от идеального мега-канала, который можно себе позволить? Если главной мыслью быстрого получения данных является возможность практически в реальном времени выполнять контроль качества, но на практике мы можем использовать значительно меньше каналов, то нам надо задать вопрос насколько важно выполнение в реальном времени QC для всех видов работ? Если основной идеей бескабельной системы работающей «вслепую» является обеспечение максимального числа каналов, то будет фундаментальный выбор между бескабельной системой «работающей вслепую» и всеми другими методами: хотим ли мы контроля качества данных или мы хотим качества данных? К счастью, не должно быть только черных и белых цветов.

### Бесшовная интеграция

До настоящего времени промышленность рассматривала этот вопрос как выбор между кабельными и бескабельными системами. Кабели обеспечивают вас дорогими данными для анализа в реальном времени; бескабельные системы «работающие вслепую» дают мега-канал по средствам. Однако,



**Рисунок 7** данные бескабельной и кабельной систем интегрированы бесшовно. Синяя линия: 18 сейсмодатчиков, подсоединенных к кабельной системе длиной 50 м и интервалом между трассами 50 м. Зеленая линия: расстановка из 12 –приемников на 50 м, подсоединенная к бескабельной системе с интервалом между трассами 50 м. Серая линия: расстановка из трех приемников длиной 4 м, подсоединенная к бескабельной системе с интервалом между трассами 50 м.

2008 EAGE www.firstbreak.org

### Наземная сейсморазведка

одна область, в которой кабели все еще имеют преимущество - их способность производить мониторинг за уровнем шума расстановки. Таким образом, чтобы получить лучшее, что есть нужно сделать так, чтобы оборудование с косами и бескабельное оборудование новой эры работало бок о бок. Подрядчики могут продолжать использовать существующее оборудование, усиленное бескабельными каналами по низкой цене.

При таких работах, кабельные системы можно развертывать поперек расстановки, возможно с плотностью трасс, ограниченной той, которая требуется для мониторинга шума в реальном времени. Это может быть интервал между трассами 100 м или более, и расстояние между приемными линиями не менее 500 м (большие активные расстановки потребуют тысяч кабельных каналов). Получаемая пространственная дискретизация по инлайну и крослайну обеспечивает достаточные возможности мониторинга шума, но ее необходимо компенсировать уменьшением интервалов между линиями без кабеля и плотностью трасс, например при использовании соотношения бескабельных и кабельных каналов от 2:1 до 20:1. При этом сценарии, конечно, потребуются развертывать бескабельные каналы также и на кабельной линии. Это не только улучшает качество данных с этой линии, но также означает, что сбору данных почти ничего не угрожает в случае наличия проблем с кабелем.

Очевидно, что этот тип работ более дорогостоящий, чем традиционные работы при низкой плотности, но он обеспечивает данные гораздо более ценные по цене, которую промышленность готова платить. Потенциальные варианты подобных работ очень гибкие и соотношение типов каналов может быть любым, которое является экономически выгодным для данной съемки. Таким образом, бесшовная интеграция различных технологий сбора данных позволяет нам думать только в рамках природных издержек для партии на добавочные каналы любой технологической системы. Таким образом, системы, стоящие по обоим краям спектра современных технологий могут усиливать друг друга для обеспечения коммерческих, технических преимуществ, преимуществ техники безопасности и экологичности для нефтяных компаний и подрядчиков.

Уже имеется, по меньшей мере, две системы новой эры, которые были проверены в поле в автономном режиме, одна с большим числом станций в ограниченном диапазоне окружающих условий

Mega-channel Considerations			
	Digital cable telemetry systems	Non-shoot-blind cable-free systems	Shoot-blind cable-free systems
Digital telemetry cable weight	50 kg to 100 kg per line kilometre	N/A	N/A
Near-realtime transmission of status or data	Yes	System dependent	No
Serial reliability	Yes	System dependent	No
HSE exposure	High	Medium	Low
Suitability for passive & permanent deployment	Low	Medium	High
Suitability for long-term active deployment	Low	Medium	High
Cost per channel to buy	High	Medium	Low
Cost per channel to deploy	High	Medium	Low

**Рисунок 8** Обобщение основных характеристик, влияющих на способность различных методик достигать функциональности мега-канала. Бесшовная интеграция кабельной системы и систем, работающей «вслепую» в соотношении от 1:2 до 1:20 обеспечивает максимальную гибкость и доступной по цене «мега-канальное» решение.

## Наземная сейсморазведка

в течение небольших периодов времени, и другая с меньшим числом каналов, но при большем разнообразии условий в течение нескольких лет. Улучшение производительности этих операций кажется убедительно простой, и демонстрирует что бескабельные системы уже предлагают существенных преимуществ почти при любых способах использования. Это также открывает рынок для наземного пассивного /постоянного мониторинга; интересно наблюдать, что благодаря гибкости бескабельных систем, это направление получило новую жизнь.

Однако, наиболее важной вещью, которую стоит отметить является то, что совместная работа двух систем не является научной фантастикой. В районах Европы и Северной Америки, бескабельные системы уже были бесшовно интегрированы в различные кабельные системы, все больше подобных партий планируется запустить в ближайшие 12 месяцев.

**Заключение**

Помимо изобретения фразы 'даже не неправ', Pauli также придумал принцип *Исключения*, названный в честь него. Таким образом, было бы невежественно делать сегодня заявления, в которых мы исключили бы будущее использование одной из технологий. У нас просто нет достаточных данных или опыта, чтобы выносить суждения.

Между тем, бескабельные системы, бесшовно интегрированы, и автономная методика сбора данных уже стартовали и оказывают себя;

с каждым днем мы открываем все большие горизонты, куда они нас могут увести. Кажется вероятным, что будущее наземной сейсморазведки - не только в конкуренции оборудования, но в правильных технологиях, дополняющих сильные стороны друг друга. Возможно, скоро мы будем 'даже не неправы' по поводу мега-канала.

**Литература/Дальнейшее чтение**

- Bowman, T.D., Russell, M., Woodside, W., and Culpepper, S. [2006] Rapid acquisition of small 3D seismic surveys: Urban areas within the Fort Worth basin. *SEG 76<sup>th</sup> Annual Meeting, New Orleans*. Expanded Abstracts, 47-50.
- Bridgland, R. [2001] Understand land telemetry cable testing and save money. *First Break*, 19(3), 149-154.
- Heath, R. [2005] An update on string theory, or the grand unified approach to land acquisition *The Leading Edge*. 24(10), 1020-1026.
- Jack, I. [2003] Наземная сейсморазведка technology: Where do we go from here? *First Break*, 21(2), 41-44.
- Pelletier, K. [2006] An HS&E Perspective on the Changing Technologies in Seismic Acquisition. *CSEG Recorder*, December.
- Rached, G.R. [2007] Channel-Count Requirements for 3D Наземная сейсморазведка Acquisition in Kuwait. *EAGE 69<sup>th</sup> Annual Conference & Exhibition, London*. Expanded Abstract.